



B 11

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Patentschrift**
⑩ **DE 44 15 834 C 2**

⑤① Int. Cl.⁷:
G 01 B 11/25
G 01 B 11/00
G 01 C 3/00

②① Aktenzeichen: P 44 15 834.3-52
②② Anmeldetag: 5. 5. 1994
④③ Offenlegungstag: 9. 11. 1995
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 21. 12. 2000

DE 44 15 834 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:
Breuckmann GmbH, 88709 Meersburg, DE

⑦④ Vertreter:
Hiebsch Peege Behrmann, 78224 Singen

⑥① Zusatz in: 195 43 347.5

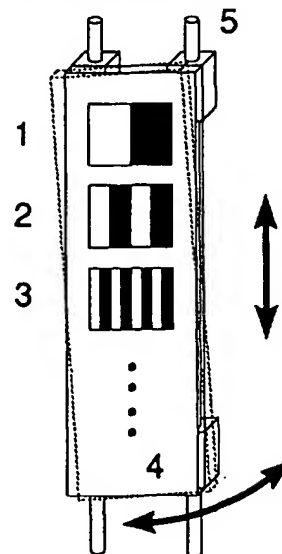
⑦② Erfinder:
Klaas, Erik, Dipl.-Ing., 88719 Stetten, DE;
Breuckmann, Bernd, Dr., 88709 Meersburg, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	24 47 789 C3
DE	41 20 115 A1
US	46 41 972
EP	03 79 079 A1

⑤④ Vorrichtung zur Vermessung von Entfernungen und räumlichen Koordinaten

- ⑤⑦ Vorrichtung zur Vermessung von Entfernungen und räumlichen Koordinaten von Objektpunkten und/oder Bewegungen von Objektpunkten unter Anwendung von bildgebenden Triangulationsverfahren (topometrischen Messverfahren) mit
- einem Projektor zur Projektion von strukturierten Lichtmustern;
 - einer Anzahl von Projektionsgittern mit unterschiedlich codierten Lichtstrukturen;
 - einem Viewing-System zur Beobachtung der auf das Objekt aufprojizierten Lichtstrukturen und
 - einer Erfassungs- und Auswerteeinheit, mit der aus vom Viewing-System beobachteten Objektrastern die absolute Lage der Objektpunkte ermittelt wird, wobei die jeweiligen Projektionsgitter auf einem gemeinsamen Träger mit definierter Phasenlage angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass der Träger (4) mittels einer Verschiebeeinrichtung mit justierbarer Trägerführung (5) so im Projektor bewegt werden kann, dass nach erfolgter Justierung die einzelnen Projektionsgitter (1, 2, 3) phasenrichtig in einen Messraum projiziert werden.



DE 44 15 834 C 2



Bekannte Vorrichtungen auf Basis von bildgebenden Triangulationsverfahren zur Vermessung von räumlichen Koordinaten weisen jeweils charakteristische Nachteile auf, die ihren Einsatz in der praktischen Anwendung z. T. stark einschränken. Diese Einschränkungen resultieren vornehmlich aus der Art der verwendeten Projektionstechnik. Die erfindungsgemäße Vorrichtung vermeidet diese Schwierigkeiten durch eine neuartige Projektionseinheit, bei der die zu projizierenden Lichtstrukturen auf einem gemeinsamen Träger mit definierter Phasenlage angebracht sind.

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Eine solche Vorrichtung arbeitet derart, daß das zu vermessende Objekt mit strukturierten Lichtmustern beleuchtet wird und diese aufprojizierten Objektraster von einem unter einem Winkel zur Beleuchtungsrichtung angeordneten Beobachtungssystem mit einer Kamera aufgenommen und gemäß den Triangulationsgesetzen ausgewertet werden, wobei die Information von mehreren Objektrastern verarbeitet wird.

Eine Vorgehensweise dieser Art ist aus der Literatur (Breuckmann, Lübeck, VDI-Bericht 679, 1988) als Phasenshiftverfahren bekannt und wird in US-PS 4641 972 im einzelnen beschrieben. Ein wesentliches Problem des Phasenshiftverfahrens resultiert aus der Tatsache, daß in einem beliebigen Objektpunkt nicht ohne weiteres die absolute Ordnung des Streifenmusters erfaßt werden kann und daher im allgemeinen nur relative Entfernungen bzw. Objekt-Koordinaten gemessen werden können.

In EP-0 379 079 A1 ist ein Verfahren beschrieben, mit dem dieser Nachteil vermieden werden kann. Dazu wird nacheinander eine Anzahl n , $n \geq 2$, von Helligkeitsmodulierten Lichtstrukturen mit unterschiedlicher Periodenlänge auf das Objekt projiziert, so daß von der Kamera mehrere Objektraster erfaßt werden können. Für jedes Objektraster wird eine Phasenshiftauswertung durchgeführt. Damit errechnet sich für jeden Objektpunkt ein Satz von n Phasenwerten, aus denen sich eindeutig die absolute räumliche Lage des Objektpunktes bestimmen läßt. Eine Schwierigkeit bei diesem Verfahren besteht darin, daß die Phasenlage der einzelnen, in den Projektionsstrahlengang eingebrachten Lichtstrukturen nicht automatisch hinreichend definiert ist, mit der Folge von möglichen systematischen Meßfehlern. In EP-0 379 079 A1 wird daher auch eine Vorrichtung beschrieben, um diese Problematik zu lösen.

Dabei werden die zu projizierenden Lichtstrukturen als Strichgitter auf einem gemeinsamen Träger angeordnet, auf dem zusätzlich Referenzmarken angebracht sind, bezüglich derer die Strichgitter eine definierte Phasenlage aufweisen. Mittels einer Verschiebeeinheit kann der gemeinsame Träger bewegt werden, wobei die Phasenlage der einzelnen Strichgitter über die Referenzmarken kontrolliert und gesteuert wird. Dazu müssen allerdings zusätzliche Mittel für eine hochpräzise Verschiebeeinheit und Phasenregelung bereitgestellt werden, insbesondere, wenn mit Strichgittern hoher Liniendichte gearbeitet wird, wie sie für eine miniaturisierte Bauweise der Projektionseinheit benötigt werden.

Ein anderes topometrisches Verfahren zur räumlichen Koordinatenbestimmung beruht auf dem sogenannten codierten Lichtansatz (Wahl, 8. DGAM-Symposium, 1986). Eine besonders für den praktischen Einsatz dieses Verfahrens geeignete Ausführung arbeitet mit einem programmierbaren LCD-Projektor zur Erzeugung der codierten Lichtstrukturen. Der wesentliche Nachteil dieses Verfahrens liegt in seiner relativ geringen Auflösung, die für viele Anwendungsfälle nicht ausreichend ist.

In anderen Quellen (DE 41 20 115 A1), (Krattenthaler, Mayer, Duwe, 1993), (Halbauer, Diplomarbeit 1993) wird ein Verfahren beschrieben, welches durch Kombination des Phasenshiftverfahrens mit dem codierten Lichtansatz die Vorteile dieser beiden Verfahren vereint und ihre Nachteile dabei vermeidet. Eine praktische Ausführung dieses Verfahrens kann ebenfalls mit einem LCD-Projektor zur Erzeugung der benötigten Lichtstrukturen realisiert werden. Ein gravierender Nachteil resultiert aus der begrenzten Auflösung der LCD-Displays sowie ihrer relativ großen Bauweise. Meßsysteme zur räumlichen Koordinatenbestimmung auf Basis von LCD-Displays sind daher in ihrer Anwendungsbreite eingeschränkt, insbesondere wenn eine kleine Bauweise bei hoher Meßgenauigkeit gefordert ist.

Aus der DE-PS 24 47 789 ist eine Vorrichtung mit den oberbegrifflichen Merkmalen des Hauptanspruches bekannt.

Genauer gesagt beschreibt dieser Beitrag aus dem Stand der Technik einen mit Hilfe von Maskentransportspulen verschiebbaren Maskenstreifen, um ein auf ein Objekt zu projizierendes Streifenmuster zu erzeugen.

Allerdings erweist sich eine solche Vorrichtung insbesondere durch die gezeigte konstruktive Realisierung für eine phasengenaue Projektion von Gittern mit hoher Strichdichte als ungeeignet, und insbesondere steht zu erwarten, dass die vorhandenen mechanischen Toleranzen die mit der bekannten Vorrichtung erreichbaren Auflösungen deutlich begrenzen.

Der Erfindung liegt demgemäß die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zu schaffen, welche die den genannten Ausführungen innewohnenden Schwierigkeiten vermeidet, gleichzeitig aber die Vorteile der einzelnen Verfahren beibehält und/oder kombiniert.

Die erfindungsmäßige Lösung dieser Aufgabe besteht in den Merkmalen nach Patentanspruch 1, vorteilhafte Ausführungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist somit die Merkmale auf, daß die zur Erzeugung von unterschiedlichen Lichtstrukturen benötigten Projektionsgitter auf einem gemeinsamen Träger bereits mit definierter Phasenbeziehung angeordnet sind und der Träger mittels einer Verschiebeeinheit mit justierbarer Trägerführung so im Projektor bewegt werden kann, daß nach erfolgter Justierung die einzelnen Projektionsgitter phasenrichtig in einen Messraum projiziert werden. Als Träger kann z. B. eine mit einer Chromschicht beschichtete Glasplatte dienen, auf die die einzelnen Projektionsgitter aufbelichtet werden. Mit den aus der Halbleitertechnik bekannten Verfahren lassen sich Gitterstrukturen mit hoher Liniendichte, variablen Gitterabständen und Intensitätsverteilungen sowie definierter Phasenlage auf sehr kleinen Abmessungen realisieren.

Eine vorteilhafte Ausführung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist im Unteranspruch 2 ausgeführt. Dabei werden Liniengitter verwendet, die – wie in Fig. 1 beispielhaft dargestellt – bezogen auf ihre Gitterstruktur übereinander phasenrichtig angeordnet sind. Um die einzelnen Liniengitter 1, 2, 3 in den Strahlengang der Projektionseinheit zu bringen, wird der gemeinsame Träger 4 senkrecht zur Gitterstruktur bewegt.

Der Unteranspruch 3 beschreibt eine weitere vorteilhafte Ausführung der erfindungsgemäßen Vorrichtung, die eine besonders komprimierte Speicherung von Liniengittern gestattet, wodurch Projektionseinrichtungen mit sehr kleiner Bauweise ermöglicht werden. Da – wie in Fig. 2 dargestellt – bei Liniengittern die gesamte Information in einem Schnitt senkrecht zum Linienvorlauf enthalten ist, ist es ausreichend, ein schmales Projektionsband 6 mit der benötigten Linienstruktur auf dem Träger zu belichten. Durch eine ge-



eignete Zylinderoptik 7 oder anamorphotische Abbildung kann das Projektionsband mit den benötigten Abbildungsverhältnissen aufgeweitet und in die Objektebene 8 projiziert werden.

Ein besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung besteht in der Tatsache, daß auf dem Träger eine große Anzahl von unterschiedlichen Projektionsgittern gespeichert werden kann, wobei die Gitterparameter der einzelnen Gitter in weiten Grenzen variabel sind. In den Unteransprüchen 4-10 sind vorteilhafte Ausführungen genannt, die durch Wahl der Projektionsgitter realisiert werden können.

Bezugszeichenliste

1, 2, 3 Gitterstrukturen	5
4 justierbarer gemeinsamer Träger	15
5 Verschiebeeinheit	
6 Projektionsband	
7 Zylinderoptik	
8 Objektebene	20

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Vermessung von Entfernungen und räumlichen Koordinaten von Objektpunkten und/oder Bewegungen von Objektpunkten unter Anwendung von bildgebenden Triangulationsverfahren (topometrischen Messverfahren) mit

- einem Projektor zur Projektion von strukturierten Lichtmustern;
- einer Anzahl von Projektionsgittern mit unterschiedlich codierten Lichtstrukturen;
- einem Viewing-System zur Beobachtung der auf das Objekt aufprojizierten Lichtstrukturen und
- einer Erfassungs- und Auswerteeinheit, mit der aus vom Viewing-System beobachteten Objektrastrern die absolute Lage der Objektpunkte ermittelt wird,

wobei die jeweiligen Projektionsgitter auf einem gemeinsamen Träger mit definierter Phasenlage angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Träger (4) mittels einer Verschiebeeinrichtung mit justierbarer Trägerführung (5) so im Projektor bewegt werden kann, dass nach erfolgter Justierung die einzelnen Projektionsgitter (1, 2, 3) phasenrichtig in einen Messraum projiziert werden.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Projektion Liniengitter verwendet werden, die - bezogen auf die Gitterstruktur - übereinander angeordnet sind/und die Verschiebung des Trägers senkrecht zur Gitterstruktur erfolgt.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur Projektion von Liniengittern diese senkrecht zur Gitterstruktur komprimiert auf dem Träger gespeichert werden und die so komprimierten Gitter durch eine geeignete Abbildung in den Messraum projiziert werden, wobei durch Wahl der unterschiedlichen Abbildungsmaßstäbe in x- und y-Richtung das Gitter wieder aufgeweitet werden kann.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Codierung der Lichtstrukturen nach dem Phasenshiftverfahren erfolgt.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass Lichtstrukturen mit sinusförmiger Intensitätsverteilung projiziert werden.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Codierung der Lichtstrukturen so erfolgt, dass nach dem Phasenshiftverfahren

ein Raster mit unterschiedlichen Gitterperioden projiziert werden, wobei das Verhältnis der Gitterperioden so gewählt ist, dass eine eindeutige Triangulation möglich ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Codierung der Lichtstrukturen nach dem codierten Lichtansatz erfolgt.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Codierung der Lichtstrukturen durch eine Kombination von Phasenshiftverfahren und codiertem Lichtansatz erfolgt.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass farbcodierte Lichtmuster verwendet werden.

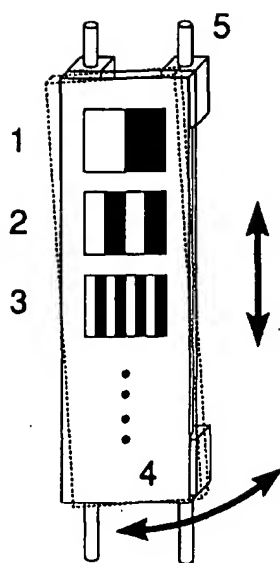
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Codierung der Lichtstrukturen durch eine Kombination von Phasenshiftverfahren, codiertem Lichtansatz und Farbcodierung erfolgt.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

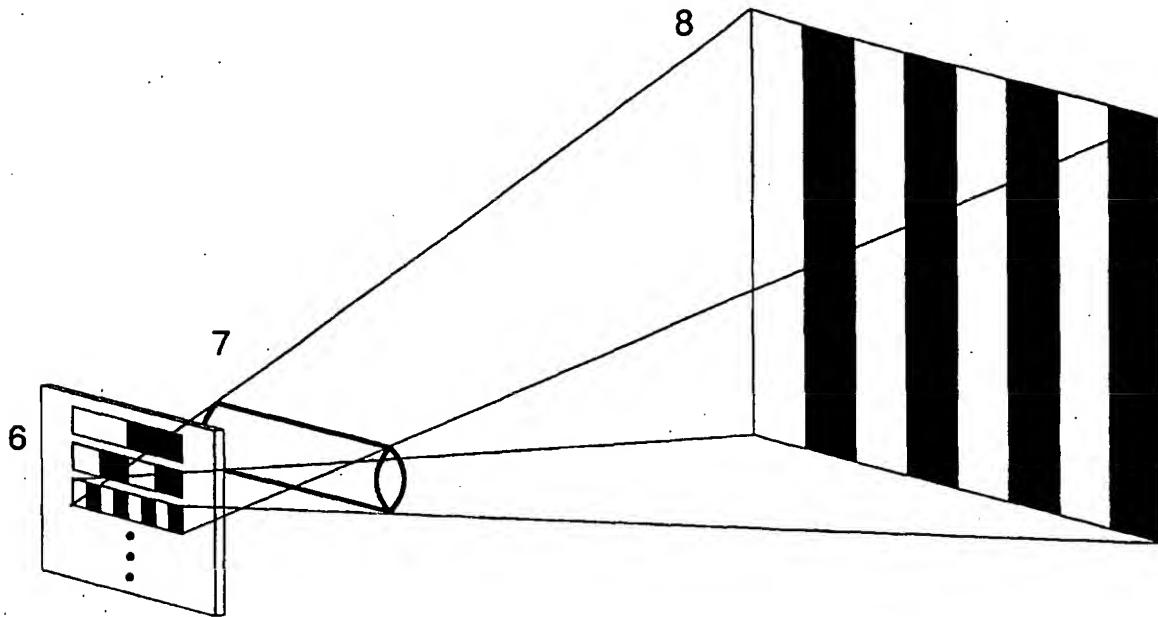


- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)



Figur 1



Figur 2